最近の機関損傷について

情報技術部　小林正憲

1. まえがき

本稿は 2003 年度(2003 年 1 月 1 日～2003 年 12 月 31 日)に検査記録書により報告された、本会船級登録船の機関関係の一般損傷についてまとめたものである。なお、対象とした本会船級登録船は、2003 年度末において本会に船級を登録していた船舶及び 2003 年度中に本会の船級登録を抹消した船舶を合わせた 6,673 隻（うち、自航船 6,108 隻）である。本稿では、まず、主要機器の損傷について 1981 年以降の推移、傾向の概要を述べ、次いで 2003 年度の各機器の主要損傷について説明する。

また、船舶の航行に支障を及ぼした損傷については、自航不能に至らしめた損傷（以下、自航不能損傷という)、及び、主機出力を低減し減速航行 *1を余儀なくされた損傷 (以下、出力低減損傷という）に分類し、1981 年度以降の推移及び傾向を述べるとともに、これらの損傷例については各機器の項でその内容の一部を説明する。

なお、本稿でいう機関関係の一般損傷とは、船舶の検査時において発見された検査対象機器の損傷をいい、その大半は、機器部品の軽微な摩耗や腐食などであるが、放置しておけば大きな損傷に発展し得る可能性があるものも含んでいる。なお、プロペラの浮流物接触による損傷など、海難によって発生したと推定される損傷は、一般損傷に含めず集計から除外している。

*1 :　航海可能な速力であって、河川航行及び出入港を含み、舵によって船舶の操船を維持し、且つ、長時間の航海に耐える速力であり、通常 7 ﾉｯﾄ程度、または、満載喫水状態で船舶の連続最大出力時の計画速力の 1/2 を標準とする速力での航行。

2. 主要機器の搭載台数及び損傷率の年度別推移

図 1 ないし図 6 に 1981 年度から 2003 年度までの 23 年間における主要機器（ディーゼル主機関、蒸気タービン主機関、ディーゼル主機関用動力伝達装置、プロペラ軸、プロペラ、ボイラ及び主発電機用機関）についての搭載台数*2及び損傷率*3の推移を示す。

*2 :　各年度において対象船に搭載または装備されていた機器の数。

*3 :　各年度においてその 1 年間に何らかの損傷が報告されたものを損傷機器として数え、これらの搭載台数に対する比率。

図 1 にディーゼル主機関の年度別推移を示す。搭載台数は、1985 年までは 4 サイクル機関が 2 サイクル機関より若干多く、1986 年から 1993 年までは 2 サイクル機関及び 4 サイクル機関がほぼ同数となった。1994 年以降は 2 サイクル機関が増加し、4 サイクル機関が減少するという明瞭な傾向が認められ、2002 年度と 2003 年度とを比較してみても、2 サイク

ル機関では約１.1%増、4 サイクル機関では約 2.6%減となっている。因みに、この傾向が出始めた 1994 年度と 2003 年度とを比較すると、2 サイクル機関では約 25.6%増、4 サイクル機関では約 25.4%減となっている。損傷率では、年度により増減はあるものの、全般的には減少傾向にあるが、最近では横這いに近い減少傾向を示している。なお、2003 年度の損傷率は 2002 年度と比較し、2 サイクル機関及び 4 サイクル機関ともに若干減少した。2 サイクル機関の損傷率は、20 年間に約 1/3 まで減少しており、特に、燃焼室回りの構成部品にその傾向が現れている。
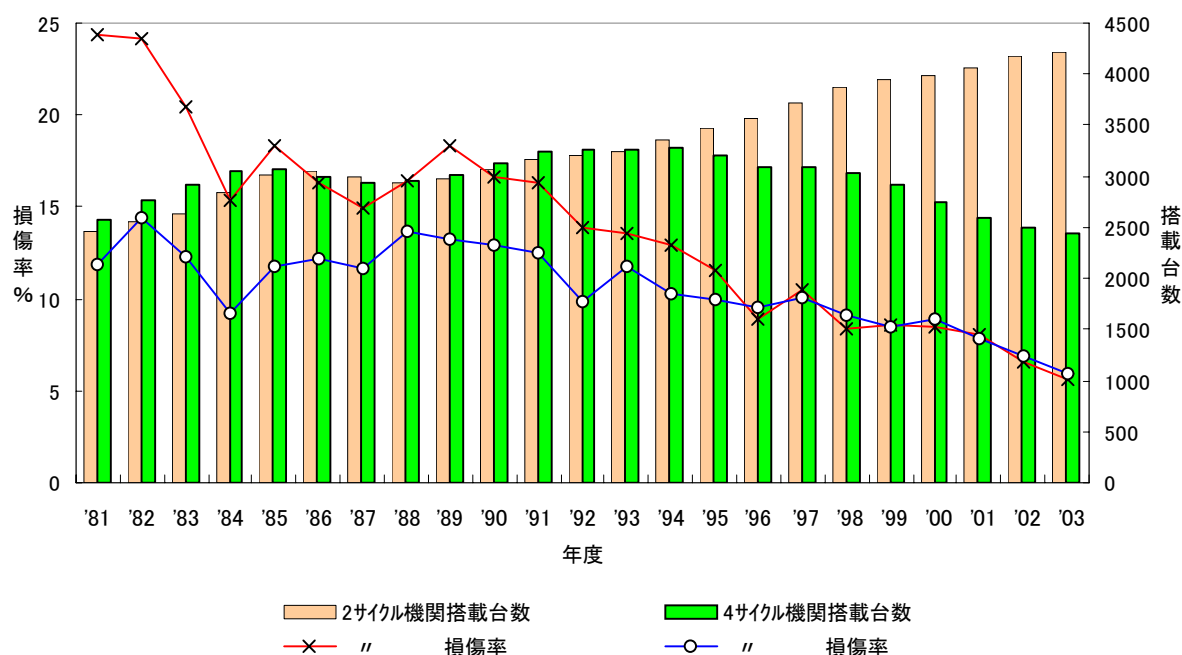
図１　ディーゼル主機関の搭載台数及び損傷率の年度別推移

図２に蒸気タービン主機関の年度別推移を示す。1970 年代に建造された油タンカー2 隻が船級登録を抹消したが、搭載台数は、2002 年度と比較して 1 台増加し 34 台であった。その内訳は、1970 年代建造の油タンカー3 隻、1983 年以降建造の LNG 船 31 隻である。図２に示すように、2003 年度は 2002 年度と比べ損傷率は増加したが、母集団（搭載台数）が少ないため、1 台でも損傷があった場合に損傷率が大きく変化してしまう為である。因みに、2002 年度は 2 台に対し 2003 年度は 4 台の蒸気タービン主機関に損傷が報告された。
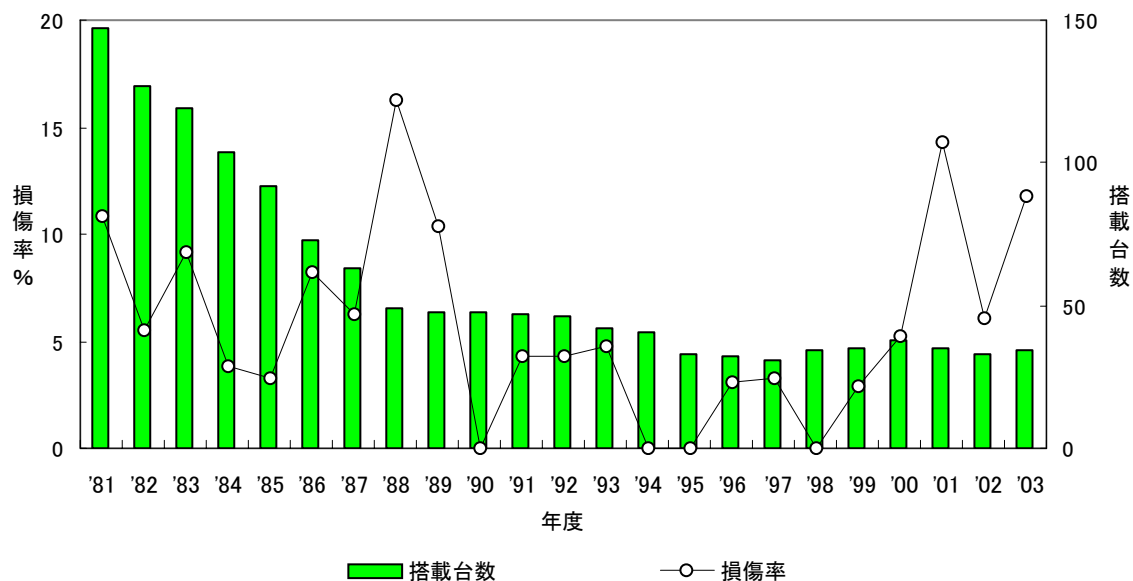
図２　蒸気タービン主機関の搭載台数及び損傷率の年度別推移

図３−１及び図３−２にディーゼル主機関用動力伝達装置（弾性継手及び減速機）の年度別推移を示す。弾性継手及び減速機（逆転機を含む）の損傷は軽微な劣化や摩耗などであり、損傷率はいずれも年度により若干の増減はあるが低い。2003 年度は 2002 年度と比べ、弾性継手及び減速機ともに損傷率は若干増加した。なお、動力伝達装置に損傷を生じると、船舶の航行に支障を及ぼす重大な損傷になることもあり、2003 年度には、減速機の軸受焼損で 1 隻が自航不能となっている。
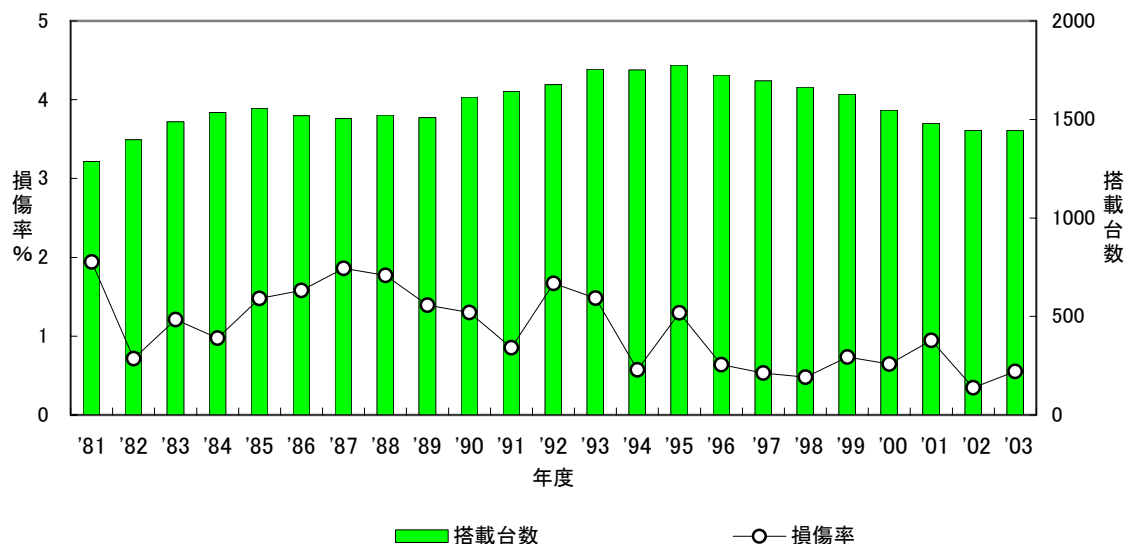
図３−１　ディーゼル主機関用弾性継手の搭載台数及び損傷率の年度別推移
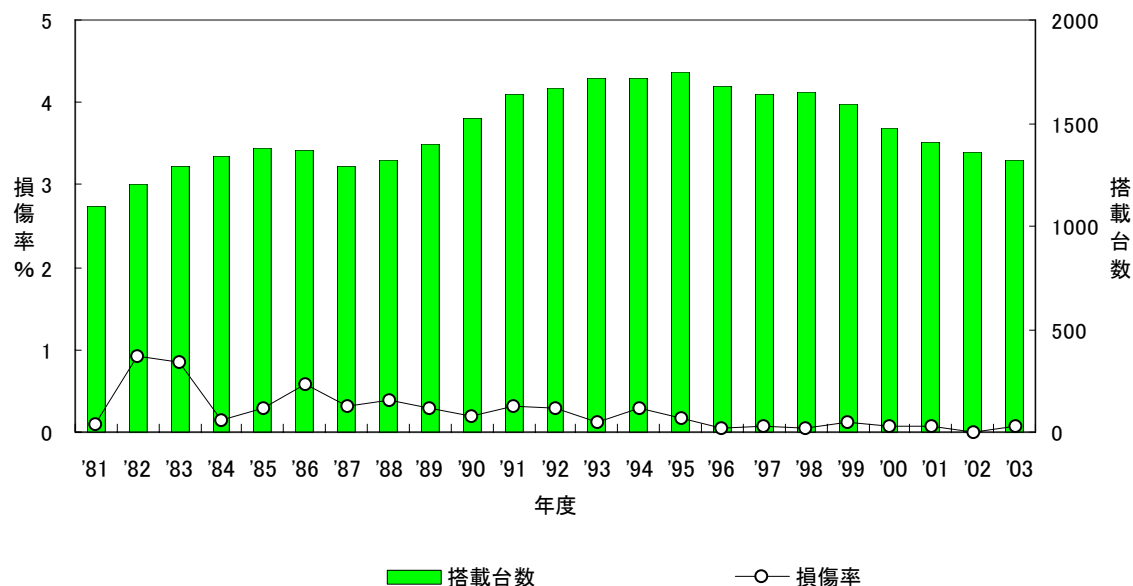
図３－２　ディーゼル主機関用減速機の搭載台数及び損傷率の年度別推移

図４にプロペラ軸及びプロペラの年度別推移を示す。損傷率は若干の増減はあるもののいずれも横這いまたは若干の減少傾向にある。2003 年度の損傷率は 2002 年度と比べ、プロペラ軸及びプロペラ共に若干減少した。プロペラ軸またはプロペラの損傷により船舶の航行に支障を及ぼした重大な損傷は、2003 年度も例年通り少なかった。しかしプロペラ軸コーンパート大端部のき裂発生は、例年通り 10 件程度報告されている。なお、損傷率の算定には含めていないが、浮流物などの接触によるプロペラ翼の曲損及び欠損などの偶発的な損傷は各年度とも相当数報告されている。
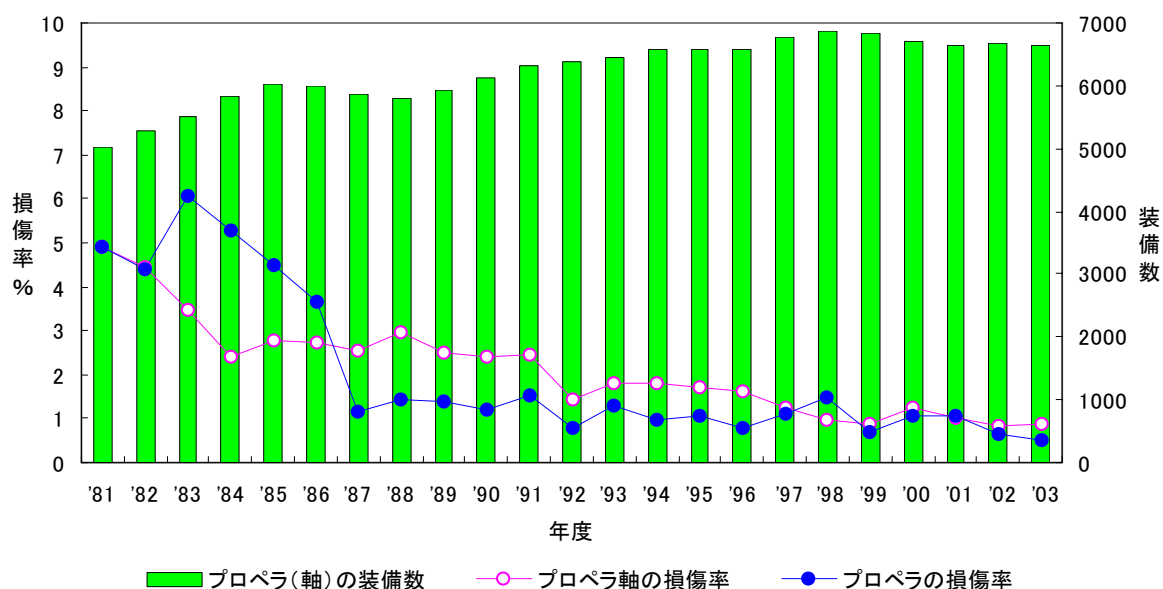
図４　プロペラ軸及びプロペラの装備数並びに損傷率の年度別推移

図５－１及び図５－２にボイラの年度別推移を示す。主ボイラの搭載缶数は 2002 年度と比

較し 2003 年度は若干増加した。

主ボイラでは、2001 年度及び 2002 年度にはそれぞれ 9 缶の主ボイラに損傷報告があり、2003 年度には 3 缶に損傷報告があったが、それらの損傷はいずれも安全弁及び付着弁のシート部の摩耗など軽微なものが主であった。

補助ボイラの損傷率は各年度で増減はあるものの全般に減少傾向であり、2003 年度も 2002 年度と比較して若干減少した。
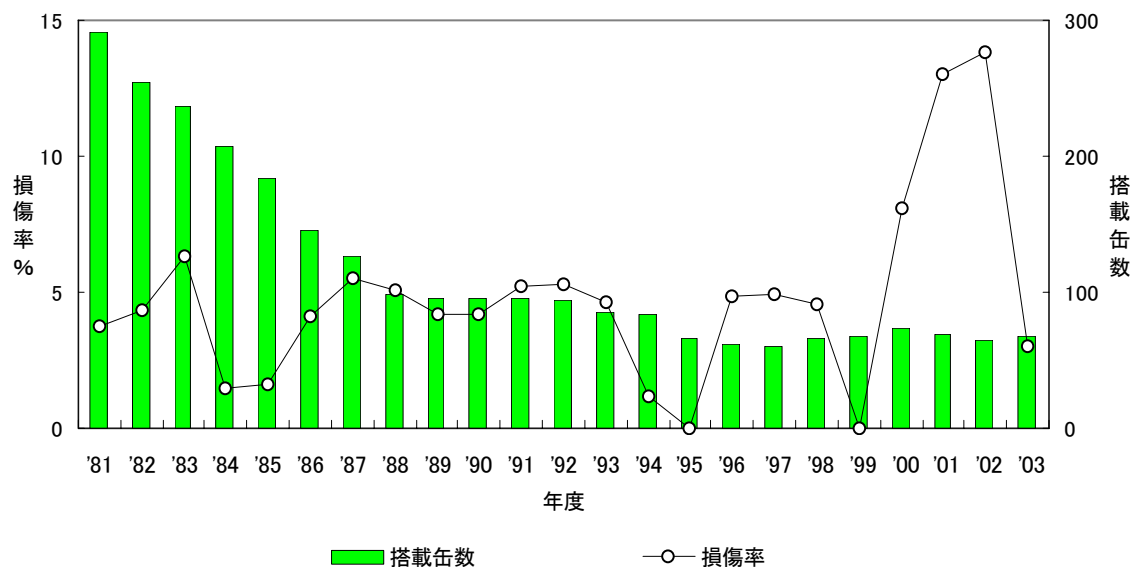
図５－１　主ボイラの搭載缶数及び損傷率の年度別推移
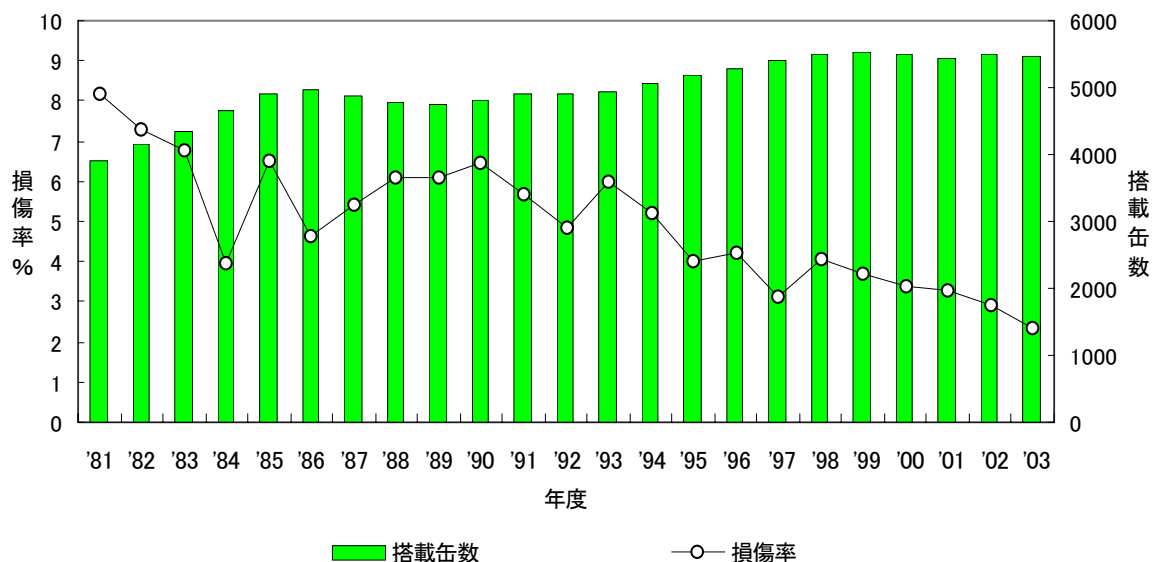
図５－２　補助ボイラの搭載缶数及び損傷率の年度別推移

図６－１及び図６－２に主発電機用機関の年度別推移を示す。主発電機用ディーゼル機関の損傷率は近年減少傾向にあり、2003 年度も 2002 年度と比べ減少した。搭載台数が多いため損傷率に大きな影響は与えないものの、クランクピンボルトの折損等による連接棒の足出し及びクランク軸の折損や焼損などの損傷が 2003 年度も報告されている。主発電機用タービン機関の損傷率は年度により増減はあるもののいずれも低率であるが、2003 年度は

2002 年度と比較して増加した。

図６－１　主発電機用ディーゼル機関の搭載台数及び損傷率の年度別推移
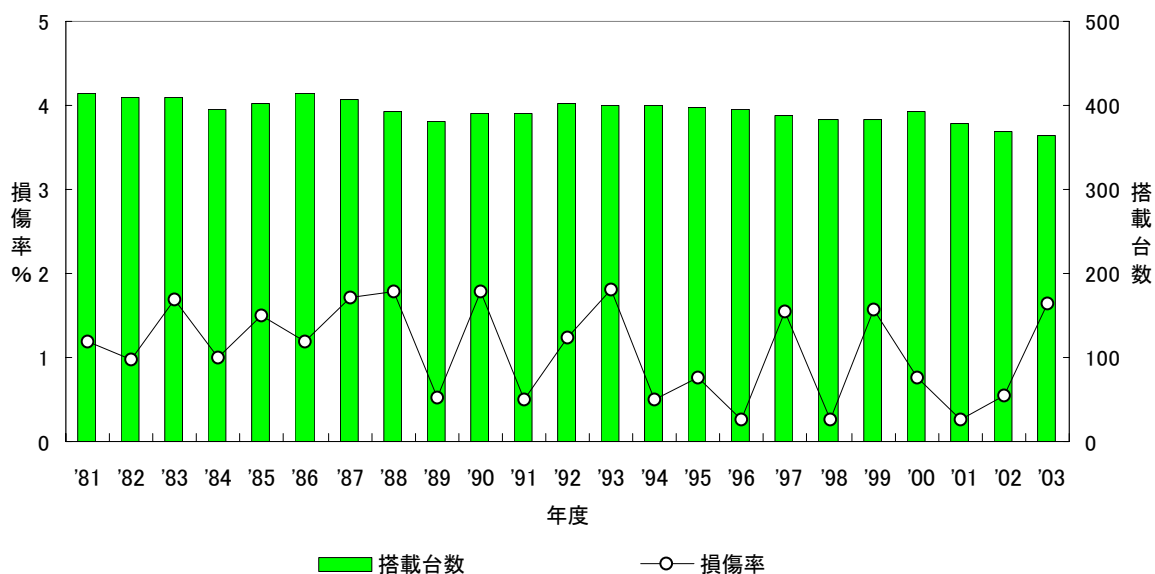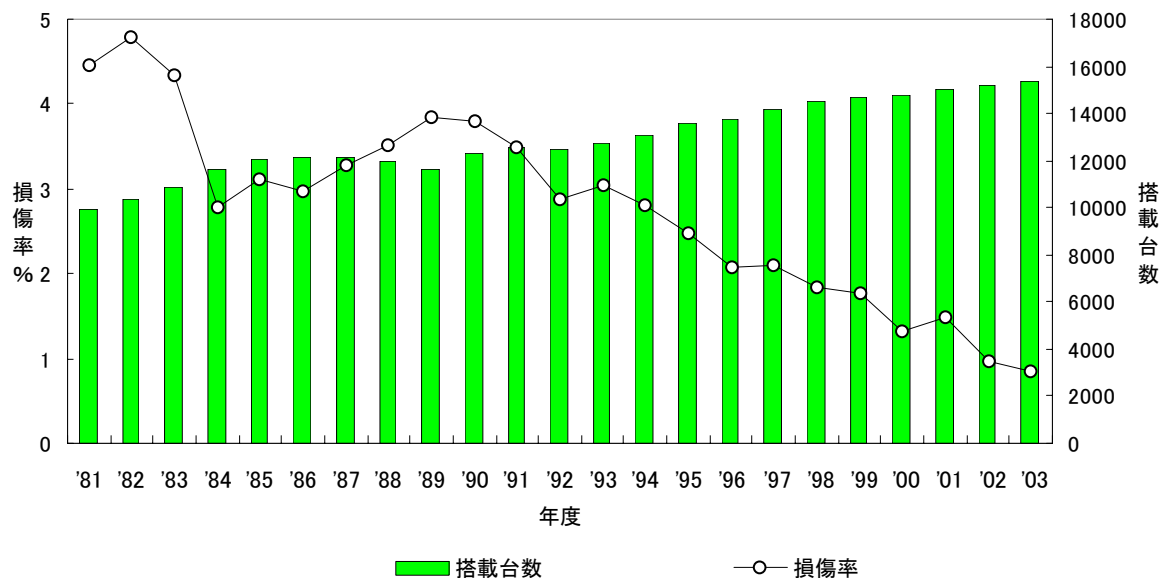
図６－２　主発電機用タービン機関の搭載台数及び損傷率の年度別推移

3.　2003 年度の主要機器の損傷

以下に主要機器の損傷について述べるが、ディーゼル主機関については、一般にシリンダユニット毎に損傷の発生があることから、損傷率としてシリンダユニット単位で表す搭載ユニット数損傷率*4を用いて集計した。なお、ディーゼル主機関でも搭載台数が少ない型式やその他の機器などで、損傷率で表すのが適当でない場合には損傷件数を用いた。

*4：　2003 年度において損傷報告のあったユニット数／2003 年度の搭載ユニット数×100（%）

搭載ユニット数損傷率は、あるユニットの部品に損傷が発生し、二次的に他の部品やユニ

ットなどに損傷が波及した場合には、それぞれの部品やユニットに対して損傷が計上されることになる。例えば、シリンダ燃焼室まわりのユニットなどにこの傾向が現れることが多く、単独損傷と複合損傷の視野に立って損傷発生状況を判断する必要がある。

3.1 船舶の航行に支障を及ぼした損傷の動向

船舶の航行に支障を及ぼした損傷（自航不能損傷及び出力低減損傷）の年度別推移とその傾向を概説する。1981 年度から 2003 年度の各年度別に見ると、本会船級登録船（自航船）総隻数の 0.2%～0.6%の範囲内に自航不能損傷が発生し、0.5%～1.5%の範囲内に出力低減損傷が発生している。2003 年度はそれぞれ 0.31%（19 隻）、0.85%（52 隻）で、例年の範囲内であったが、2002 年度と比べ自航不能損傷は増加、出力低減損傷は減少している。

図７は 1981 年度から 2003 年度の各年度について、船舶の航行に支障を及ぼす要因となった損傷件数を機器別の割合（各年度の自航不能損傷と出力低減損傷との合計件数を 100 として表したもの）で示したものである。各年度とも主機関が要因となった割合が殆どを占めており、2003 年度も同様であったが、軸系装置に起因する割合が若干増加した。また図中の機関室とは機関室の浸水や火災などによる事故で、機関室全般に亘って損傷を及ぼしたものをいうが、2003 年度は、2002 年度と比べ若干減少した。
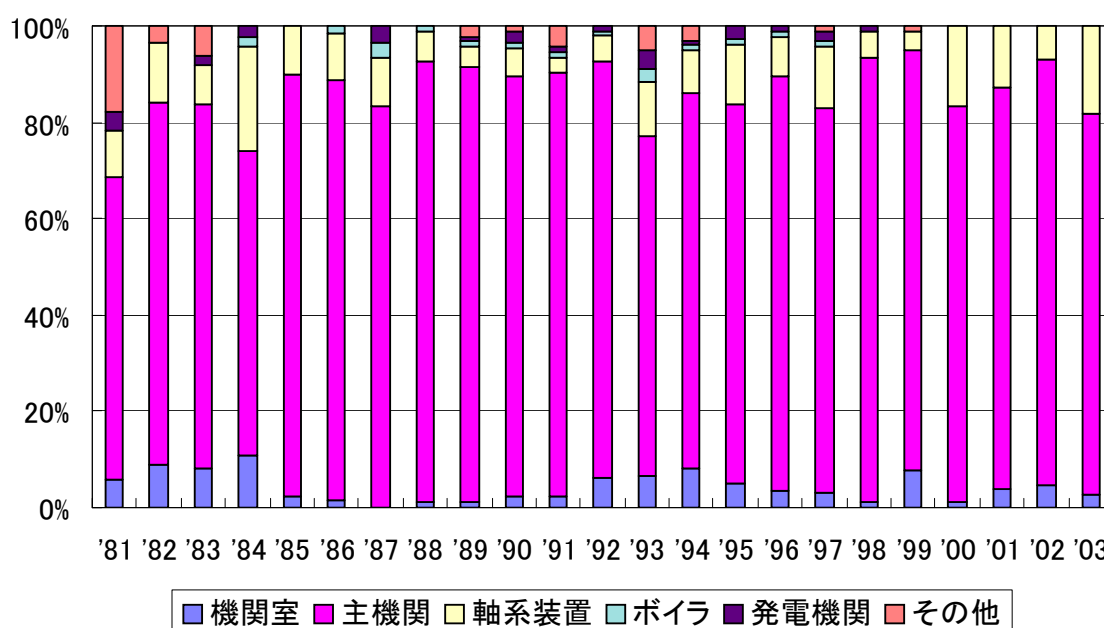
図7　船舶の航行に支障を及ぼした損傷件数割合の年度別推移（機器別）

図８は 2003 年度の船舶の航行に支障を及ぼした損傷について、自航不能損傷と出力低減損傷に分け、これらの損傷件数を機器別（ディーゼル主機関については損傷部位別としている）の割合で示したものである。自航不能損傷では例年主機関クランク軸関係の割合が比較的高いが、2003 年度は軸系関係の割合が約 50%を占めていた。出力低減損傷では主機関過給機の割合が高く、この傾向は例年と同様である。
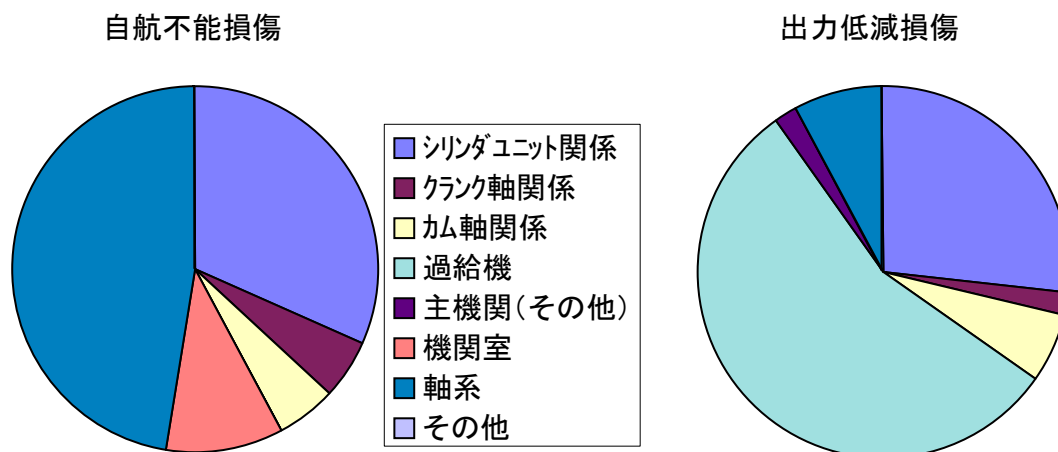
図８　２００３年度の船舶の航行に支障を及ぼした損傷件数の機器及び部位別の割合

図 9 は 1981 年度から 2003 年度の各年度について、ディーゼル主機関に起因した船舶の航行に支障を及ぼした損傷に関し、その部位別の割合（各年度の自航不能損傷と出力低減損傷との合計件数を 100 として表したもの）を示したものである。最近では過給機の割合が高く、2003 年度も同様である。また 2003 年度は 2002 年度と比較し、クランク軸関係の割合が減少し、シリンダユニット関係の割合が増加した。
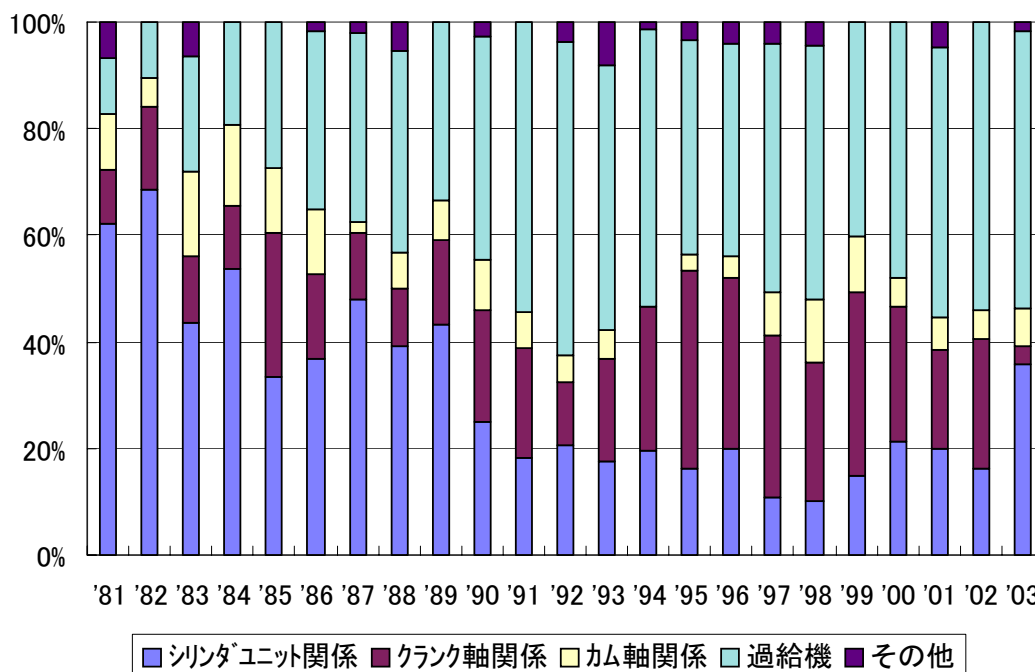
図９　ﾃﾞｨｰｾﾞﾙ主機関に起因し船舶の航行に支障を及ぼした損傷件数割合の年度別推移
（部位別）（各年度の件数を 100 とした）

4.　ディーゼル主機関の損傷

ディーゼル主機関の損傷集計においては、機関の型式を 2 サイクル主機関と 4 サイクル主機関に分類した。

図１０に 2 サイクル主機関、図１１に 4 サイクル主機関の搭載ユニット数損傷率の 1983 年度からの年度別推移をそれぞれ示す。なお、カム軸駆動装置、過給機及び空気冷却器については搭載数損傷率で示している（これ以降に示すユニット数損傷率の図でも同様）。

図１０及び図１１を比較すると、2 サイクル主機関では過給機が、4 サイクル主機関ではクランク軸関係軸受の損傷率が高い。
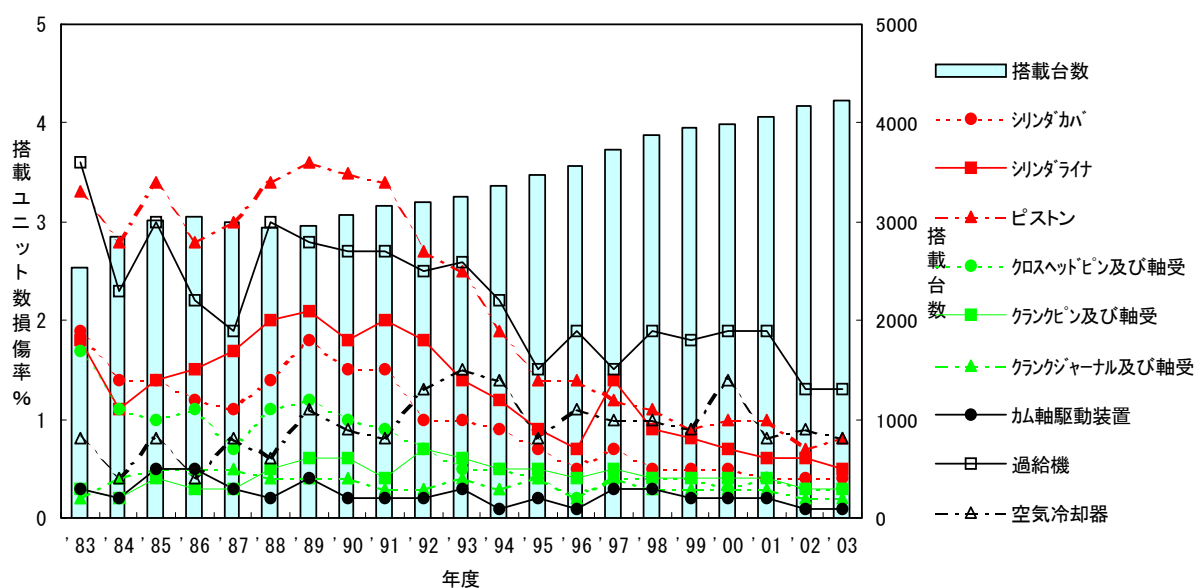
図１０　２サイクル主機関の搭載ユニット数損傷率の年度別推移
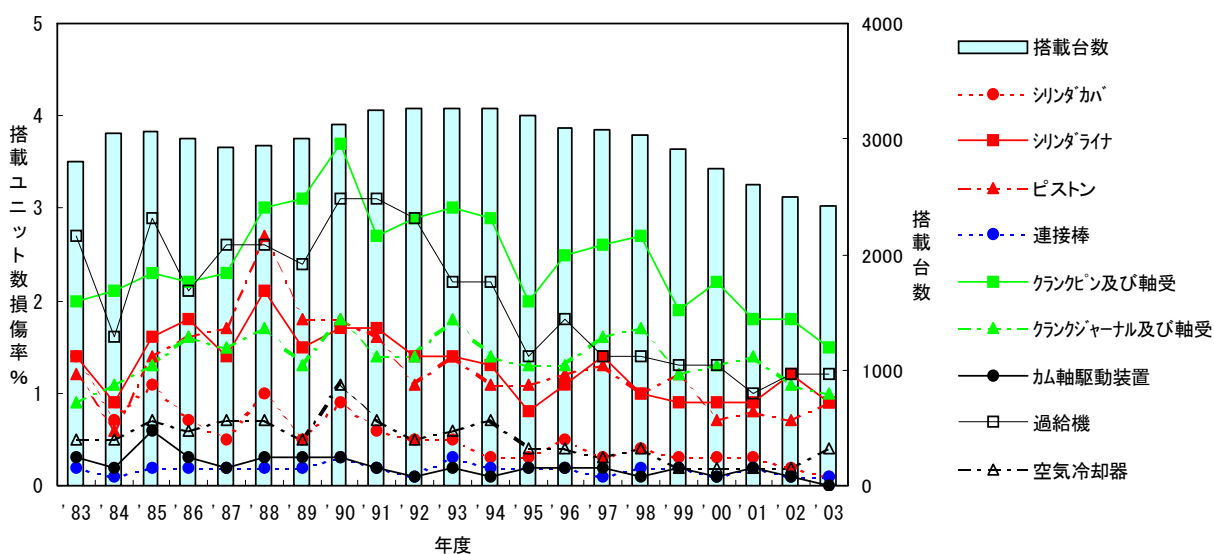
図１１　４サイクル主機関の搭載ユニット数損傷率の年度別推移

4.1　2サイクルディーゼル主機関

2 サイクルディーゼル主機関の主な損傷は、シリンダカバ触火面の弁穴縁のき裂、シリンダライナ摺動面の摩耗、ピストンリング溝の摩耗及びピストンクラウン触火面頂部の焼損などの燃焼室構成部品に加えて、クロスヘッドピン軸受メタル、クランクピン軸受メタル及び主軸受メタルのき裂並びに剥離などが報告されている。また、特にある特定の主機関では、過給機の損傷率が毎年継続して高い値となっており注意が必要であり、過去には機関室火災にまで至った例もある。

5.　軸系装置の損傷

5.1 中間軸

中間軸及び中間軸受の主な損傷は、中間軸受メタルの摩耗及び掻き傷、軸受メタル損傷に関連した中間軸の掻き傷などである。2003 年度は、中間軸（給油軸等を含む）のき裂及び継手ボルトの折損により、自航不能となった損傷が 5 件報告されている。

6.　ボイラの損傷

6.1 補助ボイラ

ボイラの損傷報告の多くは管などの腐食及び衰耗である。図１２に補助ボイラの型式別搭載缶数及び損傷率を示す。
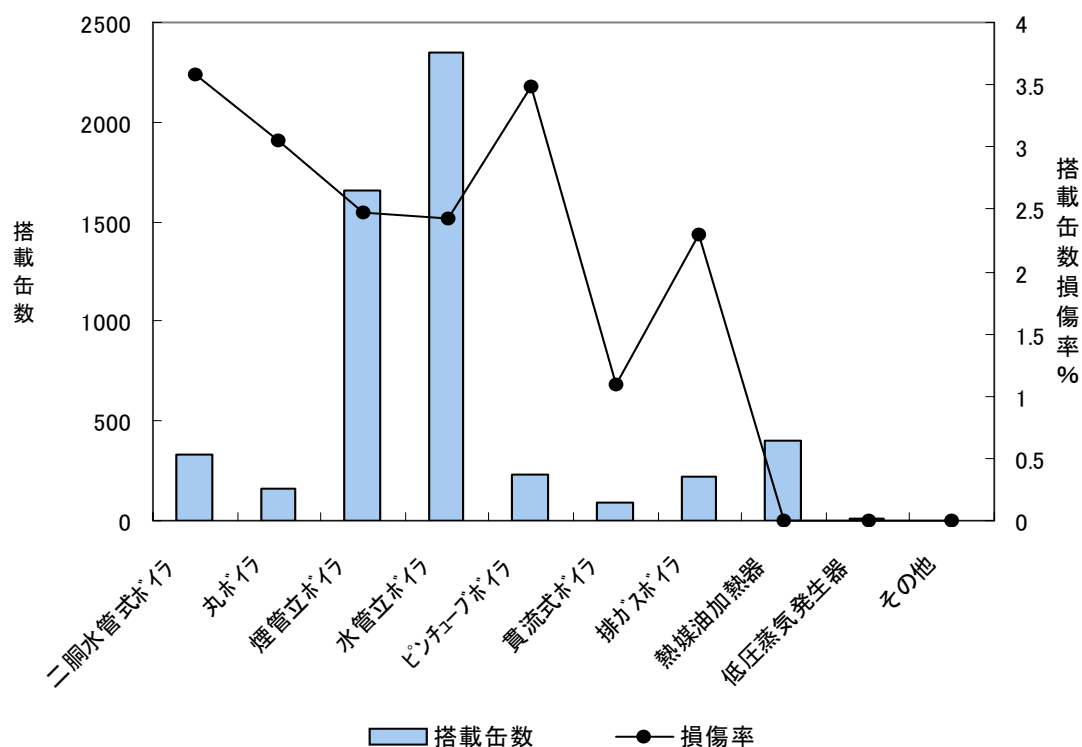
図１２　補助ボイラの型式別搭載缶数及び損傷率

主な損傷で、かつ各型式に共通する損傷は、水管や煙管の腐食及び焼損、付着弁の腐食及び摩耗などで、他に、煙管立ボイラのフリューチューブ取付溶接部のき裂、水管立ボイラの煙道出口端部のき裂などが若干報告されている。また、新しい型式のボイラで、火炉水側のスペースが狭く、掃除が充分に出来にくいことも影響したと思われる、火炉の過熱によるき裂の発生が報告されたものがあった。
近年のコンポジットボイラにおいては、ボイラ燃焼ガスで水管を加熱し主機関の排気ガスを煙管に通す方法やその逆の方法、または、これらの方法の一部を組合わせるなど、構造的に複雑になってきており、今後、過去の損傷形態と異なる損傷が報告される可能性が考えられる。
また、2003 年度はショートウォータによる損傷が 5 件報告（2002 年度は 6 件）された。ショートウォータは、ボイラ水位が危険低水位以下のまま燃焼が継続された場合に発生するもので、管の焼損及び変形、拡管部からの漏水などを引起こし、火炉の圧潰に至る場合もあり、多大な修理を要することもある。
多くの場合、水面計の整備不良、制御機器（水位検出器を含む給水制御系統）及び安全装置（低水位による燃料遮断装置）の作動不良に起因することから、これらの機器、及び装置の日頃の保守及び整備などの適切且つ十分な励行が大切である。
他に、多大な修理を要するボイラ事故として炉内爆発があり、爆発により人身事故に至る場合もある。
炉内爆発は、以下に示す要因により起きており、またこれらの要因が複合して発生している場合もある。
① 点火失敗を繰返すうちに未燃の燃料油が炉内に滞留
② 燃料遮断弁の不具合により燃料が漏洩し、炉内に滞留
③ 自動燃焼装置や安全装置の作動不良のまま運転開始
④ 運転前の炉内換気（プレパージ）が不十分のまま点火

2003 年度に報告された炉内爆発も、上記の要因が複合して発生しており、特に点火失敗を繰返した場合は、点検口を開けただけで、バックファイヤー（逆火）が発生する可能性があるので、注意が必要である。

7. 主発電機用機関の損傷

7.1 主発電機用ディーゼル機関

主発電機用ディーゼル機関の損傷は、摺動部及び回転部の摩耗が主であるが、それ以外の特筆すべき損傷では、大きな修理を伴う損傷として、連接棒やバランスウェイトが、シリンダブロックまたはクランクケースを破壊して外に飛出す、所謂、足出し事故、及びクランク軸の焼損並びに折損事故などが挙げられる。

(1) 足出し事故

連接棒、バランスウェイトがシリンダブロックまたはクランクケースを破壊し外に飛出す事故を、「足出し事故」と呼称しているが、2003 年度には足出し事故（損傷の状況から足

出し事故と推定されるものを含む）が 13 件報告された。これは 2002 年度の 12 件と比較し若干増加している。
2003 年度の場合、クランクピンボルトの折損（弛緩及び脱落を含む）によると推定されたものが 10 件（2002 年度は 8 件）、連接棒（本体、大端部）の破断による推定されたものが 2 件（2002 年度は 3 件）、ピストンの割損によると推定されたものが 1 件（2002 年度は 1 件）となっている。
また、船齢で分類すると、20 年以上が 8 件（2002 年度は 2 件）、15 年以上 20 年未満が 1 件(2002 年度は 6 件)、10 年以上 15 年未満が 2 件(2002 年度は 2 件)、10 年未満が 2 件(2002 年は 2 件）である。
クランクピンボルトが折損する要因は、ピストン抜きなどの通常の開放整備での復旧時に、クランクピンボルトの締付けが不充分なことであり、その後の運転で弛み、折損や脱落して事故となったと推定されるものが多い。
ボルトの締付け不良の要因としては、締付けトルク不足や規定トルクで締付けを行ったにもかかわらず、ボルト座面に誤って異物を入れたまま締付けた結果として、締付けが不充分となったことがあげられる。この為、機関メーカによっては、従来のトルク法によるボルト締付けから、角度法による締付けを行うよう推奨している。その理由として、トルク法による締付けでは、トルクレンチの校正不良や人為的な締付けトルクのバラツキが多く、角度法により、より精度良く（ボルト軸力が均一且つ安定）締付けを行うことが出来る為である。
その他に、機関メーカが規定しているボルトの交換時期を著しく超えて使用した為に事故となるケースもあり、機器の開放整備に際しては、取扱説明書通りに適切に保守並びに整備すること、及び最新のサービスニュースを入手することが重要である。

(2) クランク軸の損傷
上述した足出し事故によるクランク軸の損傷（二次的な損傷）を除き、クランク軸の損傷では、クランク軸の交換や機械加工などの大きな修理を余儀なくされる場合がある。
2003 年度に、クランク軸の交換（新替、新替指定または中古品と交換）を余儀なくされたものが 13 件（2002 年度は 26 件）及びクランク軸の削正など（機械加工または修理指定）を余儀なくされたものが 8 件（2002 年度は 7 件）それぞれ報告された。
これらを損傷形態で分類すると、折損が 2 件（2002 年度は 3 件）、き裂が 0 件（2002 年度は 9 件）、焼損が 17 件（2002 年度は 15 件）、掻き傷が 4 件（2002 年度は 5 件）、曲損が 1 件（2002 年度は 1 件）、摩耗、偏摩耗及び異常摩耗が 0 件（2002 年度は 0 件）となっている。
損傷部位で分類すると、クランクピン部が 16 件（2002 年度は 19 件）、クランクジャーナル部が 18 件（2002 年度は 8 件）及びその双方に関係したものが 15 件（2002 年度は 6 件）となっている。
また、船齢で分類すると、20 年以上が 8 件（2002 年度は 11 件）、15 年以上 20 年未満が 5 件（2002 年度は 8 件）、10 年以上 15 年未満が 7 件（2002 年度は 8 件）及び 10 年未満が 1 件（2002 年度は 6 件）となっている。

上述の損傷形態の中で、クランク軸の焼損（き裂の一部及び掻き傷を含む）として報告された 21 件（2002 年度は 29 件）のうち、クランク軸の削正（予定を含む）などが行われたものが 8 件あり、クランク軸表面を硬化処理していない機関の場合、クランク軸の焼損による修理としてクランク軸の交換を行わず、削正して継続使用されているものがある。
クランク軸の焼損原因の一つとしては、クランクピン部の焼損では、連接棒大端部軸受ハウジング内径の変形により､軸受クリアランスが減少し潤滑不良となることがあげられる。その要因として、機関運転時の吸気行程に発生するピストン慣性力が連接棒大端部に作用し、上側セレーション部の合わせ面の口開き量が増大してセレーション部のフレッティングによる摩耗、噛合い幅の減少、慣性力による曲げ荷重増加、歯の噛合いズレ増大、ボルト軸力低下が繰返されることが挙げられる。その為、口開きが更に増大するため、連接棒大端部軸受ハウジング内径が縮小や楕円に変形するものと推定される。通常、連接棒整備時には大端部の内径計測がなされ、不良品は交換されたり、機関メーカのインストラクションに従ってホーニング修正が行われるが、この処置がなされていないケースも報告されている。また、クランクピンボルトの締付け不良も軸受クリアランスに影響する一因でもある。

8. 機関室火災

2003 年度に機関室火災が 2 件（2002 年度は 5 件）報告された。
2003 年度は、例年報告されている主機関過給機の事故により過給機付近に火災を発生したとの報告はない。しかし、過給機のオーバラン及び爆発は減少傾向ではなく、幸いにも機関室火災に至らなかったに過ぎない。主機関過給機の事故（特に爆発）は機関室火災に繋がりやすいことに変わりはないと考えられ、その要因となっているディーゼル主機関の適切な保守及び整備がより一層望まれる。

9. まとめ

2003 年度の検査記録書を調査した結果、2002 年度以前の数年間と比較して、損傷の傾向などに大きく変わったところは認められないが、以下の点が注目される損傷である。

(1) データ上の傾向としては、図 1 に示したディーゼル主機関の損傷率の推移に現れているように、2 サイクル主機関及び 4 サイクル主機関の損傷率は共に、最近の数年間は概ね横這いに近い減少傾向にあるといえる。しかし、1990 年頃から見れば、損傷率は明らかに減少傾向にある。
しかし、保守不良及び操作ミスに起因した重大な損傷は、例年ほぼ一定割合で報告されており、このことから図 1 に示した最近の損傷率の減少を以下のように推察する。
① 船舶保険の免責額が上がったことなども影響して､船舶保険クレームが適用されない損傷に関して、本会の臨時検査を受けないケースが以前と比べ多くなっている。
② 部品の信頼性が向上して、取替のインターバルが長くなっている。

(2) ある特定の中型ディーゼル主機関において、過給機のオーバラン及び爆発が 2003 年度も相変わらず報告されている。いずれもが船舶の航行に支障を及ぼす重大な損傷に至っている。この損傷は必ずしも過給機単体の問題のみから発生しているものでは

なく、主機関の汚損、保守不良及び過給機入口の排気ガス温度などに大きく影響されて、結果として過給機のオーバラン及び爆発に至っている場合が多いと思われる。

本会では、対象機関搭載の本会船級登録船に対し、定期的な船級維持検査及び主機関に関する機関継続検査で臨検する機会を利用し、排気管や掃気室の内部が定期的に清掃され、機関が正常に運転されていることを確認し、定期的な清掃が励行されていない場合には、本船機関長に注意を喚起している。また、臨検時には本船機関長に対して、過給機破損と機関室火災のメカニズムに関する説明図及び 2 サイクルディーゼル主機関（クロスヘッド型）の掃排気系統に関する説明図並びに上述した機関メーカから提起されている事故防止対策のコピーを渡して事故防止を計っている。しかし、事故の減少に結びついておらず、保守管理の難しさが懸念される為、再度機関メーカと事故防止対策を協議しているところである。

(3)　中間軸では、2002 年度に報告された継手ボルトの締付け不足によるものと思われる折損事故が、2003 年度にも報告されており、継手ボルトの締付け力及びバラツキをなくすために、その締付け作業の定量的な把握及び手順の明確化を行うことが望まれる。また、プロペラ軸では、例年報告されている海水潤滑方式のプロペラ軸コーンパート部のき裂は、2002 年度に比べて大幅に減少している。しかし、プロペラ軸スリーブの侵食等による補修として、使用が認められているパッキンググランド部以外の軸受部等に短期間でしかも安価なコーテイング剤を使用したことにより、プロペラ軸並びに中間軸にき裂が発生する重大な事故に到るケースも報告されており、軸系の修理を実施する際は細心の注意を払う必要がある。

(4)　主発電機用機関では、大きな修理を伴う損傷として、連接棒やバランスウェイトがシリンダブロックやクランクケースを破壊して外に飛出す、所謂、足出し事故が 2003 年度も報告されている。その多くの原因が、乗組員によるピストン抜きなどの、通常の開放整備復旧時の、クランクピンボルトの締付け不良である。その要因となっている機関の適切な保守、整備及び乗組員の技量向上がより一層望まれる。

また、このような事故に伴い、損傷した機関が修理されるまで、電力調査に基づいた同等の電気容量の持運び式発電機を搭載することが余儀なくされ、PSC（ポートステートコントロール）に出港差止めを命令される等の問題が発生する場合もあり、細心の注意を払う必要がある。

(5)　機関関係の重大な損傷は、その殆どが主機関、推進軸系に関連して発生していることから、これらの保守に重点を置くことが望まれる。

最後に、本稿が船舶の安全性並びに機器の信頼性向上、及び乗組員の教育に、少しでも寄与できれば幸甚である。